

高等学校教材

电子电路基础

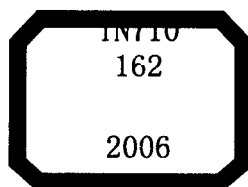
刘宝玲 主编

北京邮电大学
电信工程学院电路与系统中心 编



高等教育出版社

高等学校教材



电子电路基础

刘宝玲 主编

北京邮电大学

电信工程学院电路与系统中心 编

高等教育出版社

内容提要

本书是为高等院校电子信息类专业编写,凝结了北京邮电大学电信工程学院电路与系统中心各位老师多年的教学经验。本书主要内容包括:半导体基础知识及二极管电路、双极型晶体管及其放大电路、场效应晶体管及其放大电路、放大电路的频率特性、反馈放大电路、模拟集成电路及其应用、脉冲信号的产生与处理电路等。

本书着重物理概念和基础理论的阐述,加强了集成电路原理与应用方面的内容,重点突出,简明扼要,可作为高等院校电子信息类各专业的“电子电路基础”、“模拟电子技术基础”等课程的教材和教学参考书,也可供其他相关专业使用或供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路基础/刘宝玲主编;北京邮电大学电信工程学院电路与系统中心编. —北京:高等教育出版社, 2006.9

ISBN 7-04-019957-2

I. 电... II. ①刘...②北... III. 电子电路-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 096751 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2006 年 9 月第 1 版
印 张	35	印 次	2006 年 9 月第 1 次印刷
字 数	630 000	定 价	38.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19957-00

前 言

本书是电子信息类专业大学本科学生的必修专业基础课教材。

为了适应电子技术迅猛发展的形势,按照教育部加强素质教育对本课程的要求,结合本课程是专业基础课的特点,本书精选了教学内容,拓宽了知识面,增强了教材的通用性。本课程的基本任务是使学生通过学习常用半导体器件的外部特性,掌握放大、波形变换等单元电路的工作原理、性能特点、基本分析方法,培养对集成电路的运用能力和基本的工程估算能力。

本教材是编者在吸取国内外同类教材优点的基础之上,考虑到应用型工程技术人才培养的特点,结合自己多年的教学经验编写完成的。编写中遵循的原则是:保证基础,突出重点,强调集成,注重应用,联系实际,利于自学。在内容的编排和选取上,具有以下特点:

(1) 以电子电路的基本原理和分析方法为主,精简器件内部结构。为了方便教学,将器件分散在各章中进行介绍,有助于初学者根据器件的特性理解电路的工作原理,掌握电子电路的分析方法。

(2) 增加了常用的模拟乘法器和有源滤波器部分内容。在对电路原理、分析方法进行介绍的基础之上,还给出了典型电路,可以作为实际工作中电路设计、分析的参考。

(3) 随着半导体技术的发展,MOS 器件已成为集成电路的主流。本书适当加强了对 MOS 器件和电路的介绍。在第三章中集中论述了 MOS 器件和基本放大电路的知识,MOS 电路的频率特性在第四章中介绍。考虑到教学中的实际需要,本书重点介绍的是 MOS 器件及其电路的基础内容。

(4) 重视与数字电路内容的衔接。在脉冲信号的产生与处理一章中,从波形基本知识入手,分析晶体管的开关特性以及由其构成的门电路、由门电路构成的双稳和单稳态触发器、施密特触发器、多谐振荡器、555 定时器等。简洁实用,使波形产生电路的内容更加完整。

(5) 在当前的电子技术发展中,计算机辅助分析已经成为电路分析与设计的重要工具。本书附录中介绍了电路分析与设计软件——OrCAD,各章在对主要概念做出理论论述后也介绍了计算机辅助分析的方法。对定量计算相对较为庞杂的内容,例如第四章中,本书用工程简化的方法突出概念和结论,而精确的定量计算和定量结果的比较均通过计算机辅助分析给出。

(6) 从基本概念入手,由浅入深,精选了一些有助于理解电路特点的例题和习题。通过对例题的讲解,使学生加深对电路分析、设计理论的理解,也有助于对不同类型的电路特性、功能差异、优缺点的理解。

本书各章节之间既有联系又有一定的独立性,可供教师在教学实践中取舍。本教材适合于 50~60 学时课程,书中某些内容打有星号,可供选用。

为方便读者学习,书后给出了部分习题的参考答案。同时,编者编写了与本教材相配套的解题指南,不久也将正式出版。

本书由刘宝玲主编,各章编写工作安排为:刘宝玲编写第一章,胡春静编写第二章,郭琳编写第三、四章,孙文生编写第五、七章,刘培植编写第六章,邓钢编写附录和各章的仿真例题。

本书由北京邮电大学宋亚民教授主审,北京邮电大学张春茂教授审阅,他们提出了很多改进建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,加之时间比较仓促,书中错误和不足之处在所难免,敬请使用本教材的师生及其他读者给予批评指正。

编 者

2006 年 5 月

于北京邮电大学

目 录

第一章 半导体基础知识及二极管电路	(1)
1.1 半导体的基本特性	(1)
1.1.1 本征半导体	(2)
1.1.2 掺杂产生的两种半导体	(5)
1.1.3 半导体中载流子两种运动产生的两种电流	(7)
1.2 半导体二极管的工作原理及特性	(8)
1.2.1 PN 结及其单向导电性	(8)
1.2.2 二极管的结构与类型	(12)
1.2.3 二极管的伏安特性	(13)
1.2.4 二极管的反向击穿特性、温度特性和电容效应	(15)
1.2.5 二极管的主要参数	(18)
1.2.6 特殊二极管	(18)
1.3 半导体二极管电路	(21)
1.3.1 二极管的等效电阻	(22)
1.3.2 二极管的模型	(23)
1.3.3 二极管模拟电路	(28)
1.4 计算机仿真例题	(35)
本章小结	(37)
习题	(38)
 第二章 双极型晶体管及其放大电路	 (43)
2.1 双极型晶体管	(43)
2.1.1 晶体管的工作原理	(44)
2.1.2 晶体管的静态特性曲线	(48)
2.1.3 温度对晶体管特性曲线的影响	(53)
2.1.4 晶体管的参数	(53)
2.1.5 集成电路中的晶体管	(59)

2.2	放大电路的基本知识	(62)
2.2.1	放大电路的组成	(63)
2.2.2	放大电路的主要性能指标	(64)
2.3	基本共射放大电路的工作原理及分析方法	(69)
2.3.1	基本共射放大电路的工作原理	(69)
2.3.2	直流通路与交流通路	(70)
2.3.3	图解法	(71)
2.3.4	等效电路法	(78)
2.4	放大电路的静态工作点稳定问题	(84)
2.4.1	静态工作点稳定的必要性	(85)
2.4.2	典型的静态工作点稳定电路	(85)
2.5	晶体管单管放大电路的三种基本组态	(90)
2.5.1	共集放大电路	(90)
2.5.2	共基放大电路	(93)
2.5.3	晶体管单管放大电路三种组态的比较	(95)
2.6	电流源电路及其应用	(96)
2.6.1	常见的电流源电路	(97)
2.6.2	电流源的应用	(103)
2.7	差分放大电路	(105)
2.7.1	差分放大电路的组成及特性	(106)
2.7.2	差分放大电路的小信号放大	(109)
2.7.3	有源负载差分放大电路	(117)
2.7.4	非理想对称差分放大电路的性能	(118)
2.8	功率放大电路	(123)
2.8.1	功率放大电路的特点及分类	(123)
2.8.2	互补功率放大电路	(126)
2.8.3	准互补输出电路	(134)
2.8.4	功率管的安全工作问题	(136)
2.9	多级放大电路	(139)
2.9.1	多级放大电路的耦合方式	(139)
2.9.2	直接耦合放大电路的问题及解决方法	(140)
2.9.3	多级放大电路静态工作点的确定	(142)

2.9.4 多级放大电路交流指标的计算	(143)
2.9.5 多级放大电路应用举例	(146)
2.10 计算机仿真例题	(147)
本章小结	(151)
习题	(153)
第三章 场效应晶体管及其放大电路	(178)
3.1 MOS 场效应管	(178)
3.1.1 增强型 MOS 场效应管	(178)
3.1.2 耗尽型 MOS 场效应管	(190)
3.2 结型场效应管	(193)
3.2.1 结型场效应管的基本工作原理	(193)
3.2.2 结型场效应管的特性曲线	(196)
3.3 VDMOS 和 IGBT 管	(198)
3.3.1 VDMOS 型场效应管	(199)
3.3.2 IGBT 型管	(200)
3.4 场效应管放大电路	(201)
3.4.1 场效应管的模型	(201)
3.4.2 场效应管的直流偏置电路	(204)
3.4.3 场效应管基本放大电路	(208)
3.4.4 场效应管电流源电路	(213)
3.4.5 场效应管有源负载放大电路	(215)
3.4.6 场效应管差分放大电路	(221)
3.5 场效应管模拟开关	(227)
3.5.1 单管 MOS 模拟开关	(228)
3.5.2 CMOS 模拟开关	(229)
本章小结	(230)
习题	(231)
第四章 放大电路的频率特性	(241)
4.1 频率特性的分析方法	(241)
4.1.1 放大电路的理想频率特性	(241)

4.1.2	频率特性的分析方法	(243)
4.1.3	多级放大电路的频率特性	(248)
4.2	晶体管的频率特性	(251)
4.2.1	双极型晶体管的高频参数	(252)
4.2.2	MOS 型场效应晶体管的高频参数	(253)
4.3	双极型晶体管放大电路的频率特性	(255)
4.3.1	单管共射放大电路的高频特性	(255)
4.3.2	单管共基放大电路的高频特性	(262)
4.3.3	单管共集放大电路的高频特性	(266)
4.3.4	放大电路的低频特性	(270)
4.3.5	组合放大电路的频率特性	(272)
4.4	场效应管放大电路的频率特性	(274)
4.4.1	基本共源放大电路的频率特性	(274)
4.4.2	有源负载 E/E 型共源放大电路的频率特性	(276)
4.4.3	有源负载共漏放大电路的频率特性	(277)
4.4.4	有源负载共栅放大电路的频率特性	(280)
4.4.5	共源 - 共栅组合放大电路及其频率特性	(283)
本章小结		(284)
习题		(285)
第五章	反馈放大电路	(294)
5.1	反馈的基本概念及判断方法	(294)
5.1.1	反馈的基本概念和分类	(294)
5.1.2	反馈放大电路的组成	(297)
5.1.3	反馈极性的判别	(305)
5.1.4	反馈放大电路的基本方程式	(308)
5.1.5	负反馈放大电路的四种基本组态	(311)
5.2	负反馈对放大电路性能的改善	(315)
5.2.1	负反馈提高增益的稳定性	(315)
5.2.2	负反馈对输入电阻的改善	(316)
5.2.3	负反馈对输出电阻的改善	(318)
5.2.4	负反馈减小非线性失真	(320)

5.2.5 负反馈展宽频带	(322)
5.3 负反馈放大电路的分析方法	(325)
5.3.1 等效电路法	(325)
5.3.2 方框图法	(325)
5.3.3 深度负反馈条件下的近似计算	(326)
5.4 负反馈放大电路的稳定性分析	(330)
5.4.1 负反馈放大电路的稳定性判别	(331)
5.4.2 负反馈放大电路稳定性的分析方法	(335)
5.4.3 负反馈放大电路的相位补偿	(336)
5.5 计算机仿真例题	(342)
本章小结	(343)
习题	(345)
第六章 模拟集成电路及其应用	(358)
6.1 集成运算放大器的组成及基本特性	(358)
6.1.1 集成运算放大器的组成	(359)
6.1.2 集成运算放大器的传输特性	(362)
6.1.3 理想集成运算放大器模型	(363)
6.2 集成运算放大器的主要参数	(365)
6.2.1 输入失调参数	(365)
6.2.2 差模特性参数	(367)
6.2.3 共模特性参数	(368)
6.2.4 大信号动态特性	(369)
6.2.5 电源特性参数	(370)
*6.3 其他集成运算放大器简介	(371)
6.3.1 超高精度单片集成运算放大器 OP177	(371)
6.3.2 高速宽带集成运算放大器 LT1226	(373)
6.3.3 MC14573 CMOS 集成运算放大器	(374)
6.3.4 Bi_FET 单片集成运算放大器	(375)
6.4 集成运算放大器的同相和反相放大电路	(376)
6.4.1 集成运算放大器的线性应用与非线性应用	(376)
6.4.2 集成运算放大器的基本输入方式	(377)

6.5	集成运算放大器的模拟运算电路	(381)
6.5.1	加法运算电路	(382)
6.5.2	减法运算电路	(383)
6.5.3	积分运算电路	(385)
6.5.4	微分运算电路	(388)
6.5.5	对数与反对数运算电路	(389)
6.6	集成运算放大器参数对运算误差的影响	(392)
6.6.1	实际集成运算放大器的等效模型	(392)
6.6.2	A_{vd} 、 R_{id} 为有限值引起闭环增益的误差	(394)
6.6.3	共模抑制比 K_{CMR} 为有限值引起闭环增益的误差	(395)
6.6.4	输入失调参数 I_{IB} 、 V_{IO} 、 I_{IO} 引起输出电压的误差	(395)
6.6.5	运算放大器的开环带宽对闭环增益的影响	(396)
*6.7	模拟乘法器及其应用	(397)
6.7.1	模拟乘法器简介	(397)
6.7.2	变跨导型模拟乘法器的工作原理	(398)
6.7.3	模拟乘法器的应用	(400)
*6.8	有源滤波器	(403)
6.8.1	滤波器简介	(404)
6.8.2	有源低通滤波器	(407)
6.8.3	有源高通滤波器	(410)
6.8.4	有源带通滤波器	(411)
6.8.5	有源二阶带阻滤波器	(414)
6.9	电压比较器	(416)
6.9.1	电压比较器的基本特性	(416)
6.9.2	单片集成电压比较器	(419)
6.9.3	电压比较器的应用电路	(421)
6.10	计算机仿真例题	(429)
6.10.1	乘法器电路仿真	(429)
6.10.2	使用运算放大器宏模型分析负反馈电路的通频带	(432)
	本章小结	(434)
	习题	(435)

第七章 脉冲信号的产生与处理电路	(452)
7.1 波形的基础知识	(452)
7.2 半导体器件的开关特性	(454)
7.2.1 二极管开关特性	(454)
7.2.2 晶体管开关特性	(455)
7.3 门电路	(458)
7.3.1 基本逻辑运算和逻辑门	(458)
7.3.2 由门电路组成的双稳态触发器	(461)
7.4 单稳态触发器	(463)
7.4.1 由门电路组成的单稳态触发器	(463)
7.4.2 单稳态触发器的主要应用	(465)
7.5 施密特触发器	(466)
7.5.1 门电路组成施密特触发器	(466)
7.5.2 施密特触发器的应用	(468)
7.6 多谐振荡器	(470)
7.6.1 由门电路组成的多谐振荡器	(470)
7.6.2 由施密特触发器组成的多谐振荡器	(472)
7.7 三角波发生器与锯齿波发生器	(474)
7.7.1 三角波发生器	(475)
7.7.2 锯齿波发生器	(477)
7.8 555 定时器及其主要应用	(478)
7.8.1 555 定时器的结构及工作原理	(478)
7.8.2 由 555 定时器组成的单稳态触发器	(479)
7.8.3 由 555 定时器组成的施密特触发器	(480)
7.8.4 由 555 定时器组成的多谐振荡器	(481)
7.9 计算机仿真例题	(482)
本章小结	(484)
习题	(485)
 附录 电子电路的计算机辅助分析与设计	(493)
附录 1.1 电子 CAD 软件 OrCAD 简介	(493)
附录 1.1.1 OrCAD 的模块和工作流程简介	(494)

附录 1.1.2 OrCAD 10.0 Demo 版的获取与安装	(496)
附录 1.1.3 OrCAD 部分文档类型	(496)
附录 1.2 使用 Capture CIS 进行原理图的绘制	(497)
附录 1.2.1 Capture 操作环境	(497)
附录 1.2.2 电路图绘制基本过程的快速入门	(498)
附录 1.2.3 Capture CIS/PSpice 绘图的基本概念及基本流程	(506)
附录 1.3 使用 PSpice 进行电路特性仿真	(511)
附录 1.3.1 PSpice 软件的构成	(511)
附录 1.3.2 PSpice 电路仿真快速入门之一:静态工作点仿真	(512)
附录 1.3.3 PSpice 电路仿真快速入门之二:直流扫描仿真	(516)
附录 1.3.4 电路仿真的基本过程	(518)
附录 1.3.5 基本电路特性的仿真分析计算	(521)
附录 1.3.6 波形后处理程序 Probe	(529)
附录 1.4 相关表格	(533)
 部分习题参考答案	 (536)
 参考文献	 (546)

第一章 半导体基础知识及二极管电路

半导体器件是指采用半导体材料制成的电子器件,它是构成各种电子电路的基础。常用的半导体器件包括:半导体二极管、双极型晶体管、场效应管、半导体光电器件以及集成电路组件等。

本章首先介绍半导体的基本知识和 PN 结的单向导电性,然后讨论半导体二极管的物理结构、伏安特性、主要特性与参数,并简要介绍了几种特殊二极管。在此基础上,结合实例介绍了二极管的基本应用电路及其分析方法。

1.1 半导体的基本特性

自然界中的物质,按其导电的性能来划分,可以分为导体、绝缘体和半导体三类。其中,导电性能良好的物质称为导体,如金、银、铜、铝等金属物质;几乎不导电的物质称为绝缘体,如陶瓷、云母、塑料等;导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质称为半导体。自然界中属于半导体的物质很多,而用于制造半导体器件的材料主要有硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等,其中硅是目前最常用的半导体材料。导体、半导体和绝缘体的划分,严格来说是以物质的电阻率 ρ 的大小来确定的。电阻率小于 $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 的称为导体;电阻率大于 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 的称为绝缘体;电阻率介于 $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 与 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 之间的称为半导体。

半导体之所以受到人们的高度重视,获得广泛的应用,并不是因为它的导电性能介于导体和绝缘体之间,而是由于它的电阻率可因某些外界因素的改变而明显变化,从而具有不同于导体和绝缘体的独特性质。主要表现为以下三个方面:

(1) 掺杂特性:在半导体材料中掺入其他极微量的元素就会使其电阻率大大下降,从而改变和控制半导体的导电能力。如在纯锗中掺入 10^{-8}cm^{-3} 杂质元素(例如磷元素),则其电阻率可以下降十多倍。正因为掺杂可以改变和控制半导体的导电特性,所以利用掺杂的方法可以制成各种半导体元器件。

(2) 热敏特性:温度可以改变半导体的导电特性,半导体的电阻率随着温度的上升而急剧地下降。利用半导体的这一性质可以制成热敏电阻、热敏传感器等器件。

(3) 光敏特性:光照可以使半导体产生光电效应,不仅半导体的电阻率随着

光照的加强而显著地下降,而且还会产生电动势,这就是半导体的光电效应。利用这种效应,可以制成光敏电阻和光电池。

上述三种特性是制作各种半导体器件的物理基础。

物质导电性能的优劣,取决于它的原子内部结构和原子之间的结合方式。金属导体在常温下,其内部存在大量的自由电子,因而容易导电;绝缘体内部几乎不存在自由电子,所以几乎没有电流;而半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间,这是由构成半导体的原子结构决定的。

1.1.1 本征半导体

原子排列整齐、晶格无缺陷、纯净的半导体,称为本征半导体。

一、共价键结构

半导体的导电方式与它的原子结构有关。任何元素的原子都是由原子核和围绕原子核运动的电子组成的。不同的原子,主要表现为原子核的质量和电子数量的不同。

由于电子带负电荷,原子核带正电荷,正、负电荷相互之间存在着吸引力。距离原子核较远的外层电子受原子核的吸引力较小,最外层的电子称为价电子。有几个价电子就称为几价元素。

硅原子有 14 个电子,锗原子有 32 个电子,它们的原子结构分别如图 1.1.1 (a)、(b) 所示。由图可见,硅和锗都属于四价元素。由于元素的许多物理、化学性质以及导电性能都与价电子有关,为了简化,常用惯性核简化模型来表示,如图 1.1.1(c) 所示。

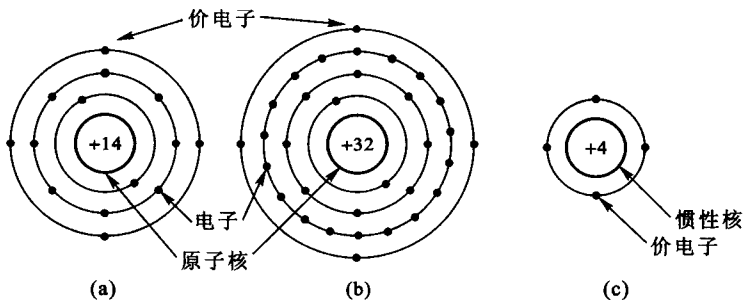


图 1.1.1 硅和锗原子结构模型

纯净的半导体经过一定的工艺提炼成单晶体后,即为本征半导体。它们的原子在空间排列成具有周期性和对称性的点阵,称为晶格。半导体一般都具有这种晶体结构,所以半导体器件又称为晶体管。

在晶格结构中,如图 1.1.2(a) 所示,由于原子间的距离很近,价电子不仅受

到自己原子核的吸引,而且还受到相邻原子核的作用,这就产生了电子运动轨道的交叉重叠。相邻的两个原子的一对最外层电子(价电子)不但各自围绕自身所属的原子核运动,而且出现在相邻原子所属的轨道上,成为共用电子,这样的组合称为共价键结构,如图 1.1.2(b) 所示。

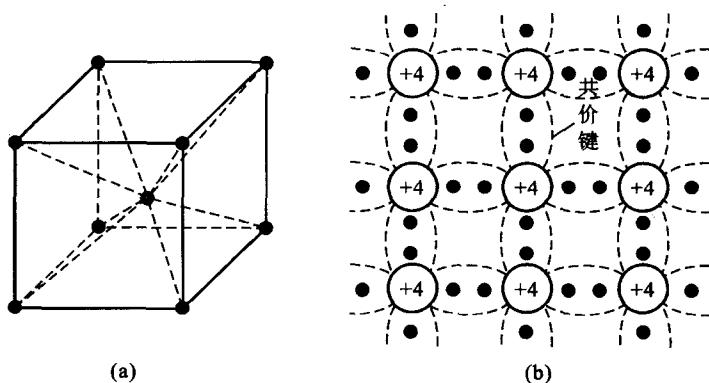


图 1.1.2 硅晶体结构和共价键结构示意图

在热力学温度零度(即 $T=0\text{ K}$, 相当于 $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$)时,由于共价键的束缚,价电子的能量无法挣脱共价键的这种束缚,因此晶体中没有自由电子,此时半导体相当于绝缘体。

二、本征激发产生两种载流子

当温度高于 0 K 时,共价键中的某些电子吸收到足够的能量,挣脱共价键的束缚成为自由电子,如图 1.1.3 所示。由于这些价电子离开了电中性区域,在原来的共价键中留下一个空位,称为空穴。自由电子带负电荷 $-q$,空穴带正电荷 $+q$ ($q=1.6\times 10^{-19}\text{ C}$)。

空穴一旦出现,则其他共价键上的电子不需要增加多少能量,就很容易来填补这个空位,这时空穴就转移到另一个位置,其他地方的电子又有可能来填补后一个空位。因此,在晶体中,由于价电子的移动而产生了带正电荷的空穴的移动。

可见,在一定的温度下,由于热能的作用,半导体中总有一定数量的价电子要挣脱共价键的束缚,而产生自由电子和相等数量的空穴。自由电子和空穴总是成对产生的,称为电子-空穴对。这种由热

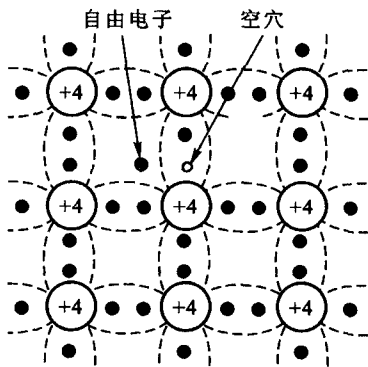


图 1.1.3 本征半导体中的自由电子和空穴

能产生电子-空穴对的现象,称为本征激发或热激发。此外,由于光照、辐射、场强等作用都会产生电子的激发现象。

另一方面,自由电子和空穴在运动中又可能释放能量,重新结合而同时消失,这种现象称为复合。在一定温度下,电子-空穴对的热激发和复合达到动态平衡。这时半导体中热激发和复合虽然在不断进行,但电子和空穴的数目却保持不变,这种状态就称为动态平衡。

运载电荷的粒子称为载流子。在本征半导体中,本征激发产生两种载流子——自由电子和空穴,并且成对出现。在一定温度下,本征半导体中载流子的浓度(单位体积内的自由电子或空穴数)是一定的,即自由电子和空穴的浓度相等。分别用 n 和 p 表示电子和空穴的浓度,并用 n_i 和 p_i 表示本征半导体中电子和空穴的浓度,则 $n_i = p_i$ 。

由以上分析可见,半导体中存在两种载流子,因此是双极性导电机构,而且随着温度升高,载流子浓度增加,其电阻率的温度系数是负的,这是半导体导电与金属导电的根本不同点。

图 1.1.4 所示为锗和硅晶体的本征载流子浓度与温度的关系曲线。由此看出,温度越高,价电子获得的能量越大,载流子浓度越大;在同一温度时,锗的载流子浓度比硅大。例如在室温 300 K 时,锗的本征载流子浓度为 $2.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$,硅的浓度为 $1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$,这是由于硅的原子核外有 3 层电子,锗的原子核外有 4 层电子,因此硅中价电子挣脱共价键的束缚所需要的能量比锗大得多,所以在相同的温度时,锗晶体中有更多的价电子能激发为自由电子。因此,锗的本征载流子的浓度比硅大。

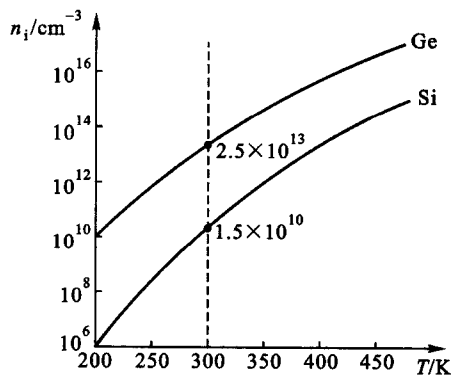


图 1.1.4 本征载流子浓度与温度的关系曲线

可见,本征半导体中载流子的浓度除与半导体材料本身的性质有关以外,还与温度密切相关,而且随着温度的升高,基本上按照指数规律增加,因此本征半导体载流子的浓度对温度十分敏感。半导体中载流子的数量强烈地依赖于环境温度,这是半导体器件工作时热不稳定性根本原因。

应当指出,常温下,由热激发产生的电子-空穴数量与原子密度相比是很少的,所以本征半导体的导电能力很差。